Projektowanie systemu dystrybucji powietrza w wentylacji – nawiewniki

Rozdział powietrza w pomieszczeniu jest jednym z najważniejszych elementów systemu wentylacji, wpływającym na komfort użytkowników budynku i ich ocenę działania tego systemu. Nawet przy najlepszych procesach uzdatniania powietrza niewłaściwy dobór nawiewników może powodować dyskomfort u osób przebywających w pomieszczeniu, przez co w ich opinii instalacja będzie odbierana jako źle działająca.

Najważniejszym elementem kształtującym rozdział powietrza w pomieszczeniu są strugi nawiewane, które z kolei mogą być kształtowane poprzez dobór odpowiednich nawiewników. Bogaty wybór tych urządzeń na rynku daje projektantowi duże możliwości w wyborze właściwego rozwiązania i zaprojektowania systemu wentylacji do prawie każdego pomieszczenia.

Wymagania dotyczące środowiska wewnętrznego

Wymagania stawiane parametrom środowiska wewnętrznego wynikają przede wszystkim z odczuć ludzi przebywających w pomieszczeniu. Zbyt duża prędkość przepływającego powietrza, zbyt niska temperatura czy brak wystarczającej wymiany powietrza
w części pomieszczenia mogą powodować dyskomfort osób korzystających z wentylacji.

Przy sporządzaniu bilansu powietrza dla pomieszczeń czy bilansu cieplno-wilgotnościowego, pomieszczenie traktowane jest jak punkt, z założeniem że parametry powietrza wewnątrz są wszędzie takie same. Normy oraz rozporządzenia [N1, N2] określają wymagany całkowity strumień powietrza, średnią temperaturę w pomieszczeniu itp. Jednak w praktyce może się zdarzyć, że parametry te nie są zachowane w jakiejś części pomieszczenia – zimna struga nawiewana wpada do strefy przebywania ludzi lub do niektórych obszarów dociera zbyt mało powietrza. Szczegółowe wymagania dotyczące parametrów środowiska wewnętrznego określają normy PN-EN 15251:2012 oraz PN-EN ISO 7730:2006 [N3, N4]. Definiują one trzy klasy pomieszczeń ze względu na poziom jakości środowiska wewnętrznego – od A (najwyższej) do C (najniższej). Najważniejsze parametry istotne przy doborze nawiewników zestawiono w tabeli 1. Są to:

- maksymalna prędkość powietrza w strefie przebywania ludzi
- wskaźnik PMV [N4], podający przewidywany procent osób niezadowolonych z warunków termicznych w pomieszczeniu; zależy on od izolacyjności odzieży i aktywności osób, lokalnych parametrów powietrza – prędkości, temperatury i turbulencji oraz temperatury promieniowania
- wskaźnik ryzyka przeciągu DR [N4], wskazujący procent osób odczuwających przeciąg; zależy od prędkości powietrza, jego temperatury i turbulencji.

Tabl. Parametry środowiska wewnętrznego dla typowego pomieszczenia (biura, restauracji itp.) [N3, N4]

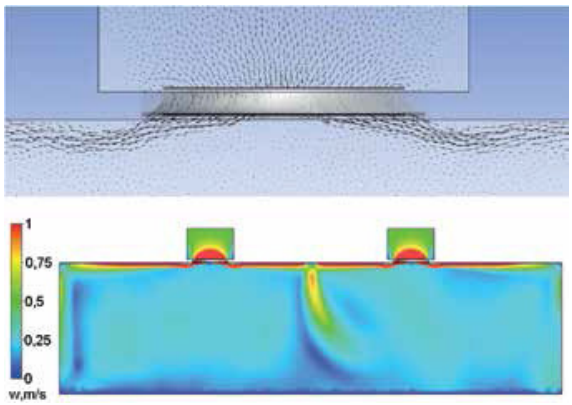
Kategoria pomieszczenia	Prędkość powietrza [m/s]	Przewidywana średnia ocena PMV	Wskaźnik ryzyka przeciągu DR
A	0,10	od -0,2 do +0,2	< 10
B	0,16	od -0,5 do +0,5	< 20
C	0,21	od -0,7 do +0,7	< 30

Metody doboru nawiewników

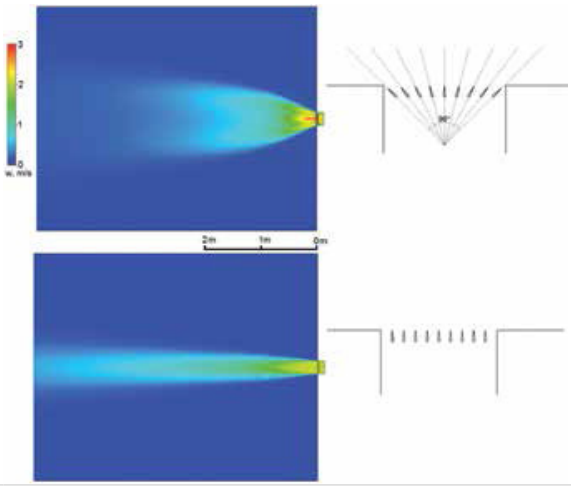
W większości typowych pomieszczeń, takich jak obiekty biurowe czy mieszkalne, dobór nawiewników przeprowadza się na podstawie danych z katalogów producenta. Proponują oni własne metody pozwalające ocenić kształt formowanej przez nawiewnik strugi. W niektórych przypadkach dostępne są nawet programy komputerowe upraszczające obliczenia. Dużą zaletą tej metody jest fakt, że odnosi się ona do parametrów konkretnego modelu nawiewnika, co jest szczególnie ważne np. przy obliczeniach akustycznych. Jednak wadą tej metody jest to, że może ona nie nadawać się do niektórych nietypowych przypadków, np. pomieszczenia z wyjątkowym kształtem sufitu lub takiego, w którym można prowadzić kanały wentylacyjne

jedynie w ograniczonym obszarze.

W przypadku nietypowych pomieszczeń zastosować można metody prognozowania przepływu powietrza – modelowanie fizykalne lub symulacje CFD. Modelowane fizykalne polega na budowie pomniejszonego modelu obiektu, w którym nawiewa się powietrze tak jak w rzeczywistym pomieszczeniu. Parametry typu prędkość powietrza czy temperatura są mierzone w różnych punktach modelu i przeliczane na wymiary rzeczywistego obiektu. Symulacje CFD polegają na obliczeniach komputerowych rozkładów np. prędkości czy temperatury powietrza. Obie te metody są jednak czasochłonne i drogie, wymagają też specjalistycznego sprzętu. W praktyce są one stosowane głównie przy projektowaniu dużych i reprezentacyjnych obiektów jak np. stadiony czy w zastosowaniach specjalistycznych jak np. przy projektowaniu wentylacji kabiny samolotu. W praktyce inżynierskiej w przypadku nietypowego pomieszczenia, w którym nie da się dobrać nawiewników w oparciu o karty katalogowe i programy, można poprosić o pomoc przedstawiciela producenta urządzeń.



Rys. 1. Symulacja numeryczna wypływu powietrza z anemostatu (fot. 1a, c): a) wektorowy rozkład prędkości w pobliżu nawiewnika, b) rozkład prędkości na płaszczyźnie przecinającej dwa anemostaty umieszczone w pomieszczeniu. Odchylenie środkowej strugi spowodowane jest lokalizacją otworu wywiewnego po prawej stronie pomieszczenia.

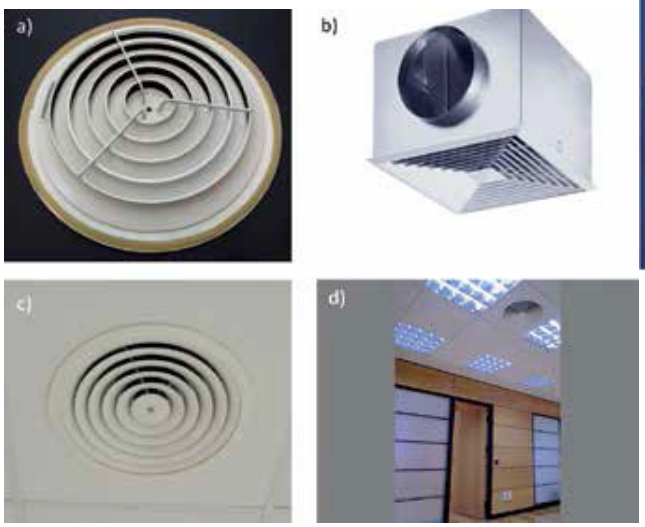


Rys. 3. Struga nawiewana z kratki w zależności od kąta ustawienia łopatek. Wymiarykratki to 225x125 mm, prędkość nawiewu 2 m/s.

Przegląd typowych konstrukcji nawiewników

Anemostaty

Anemostaty (fot. 1.) należą do najpopularniejszych typów nawiewników. Zazwyczaj montowane są na suficie, chociaż można też spotkać wersje do montażu na ścianie. Charakterystyczną cechą anemostatu jest kierunek nawiewania powietrza – łopatki nawiewnika ukształtowane są w taki sposób, aby powietrze przemieszczało się wzdłuż powierzchni, na której nawiewnik jest zamontowany. Dzięki wykorzystaniu efektu Coandy, czyli „przyklejania się” do przegrody strugi płynącej wzdłuż niej, powietrze może przemieszczać się np. przy suficie na duże odległości (rys. 1). Ma to szczególne znaczenie przy nawiewie zimnego powietrza przez nawiewniki sufitowe – naturalnie powietrze to, na skutek sił wyporu, przemieszczałoby się w dół stwarzając ryzyko wystąpienia przeciągu w strefie przebywania ludzi. Jednak dzięki zastosowaniu anemostatów struga rozszerza się i zwalnia pod sufitem, zanim dotrze do dolnych rejonów pomieszczenia.



Fot. 1. Anemostaty: a) widok z góry, b) anemostat prostokątny ze skrzynką rozprężną [1],c) anemostat okrągły zamontowany na suficie, d) przykład zastosowania [2]

Fot. 2. Nawiewniki generujące strugę podobną do anemostatu: a) zawory wentylacyjne, b) nawiewnik talerzowy [3], c) nawiewnik szczelinowy ze skrzynką rozprężną [4]

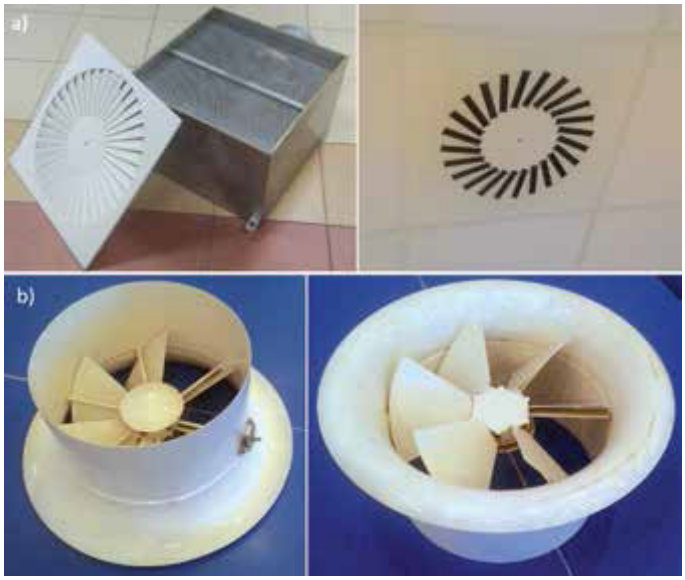
Anemostaty mogą mieć różne kształty: kwadratowe, okrągłe lub prostokątne. Występują konstrukcje nawiewające powietrze we wszystkich kierunkach lub tylko w wybranych. W sprzedaży dostępne są również inne typy nawiewników różniące się konstrukcją od typowego anemostatu, wytwarzające podobną strugę. Do najpopularniejszych należą:

■ zawory wentylacyjne, zwane także często anemostatami (fot. 2a) – zazwyczaj przystosowane są one do nawiewu mniejszych ilości powietrza, przez co znajdują zastosowanie w niewielkich pomieszczeniach i w budownictwie mieszkaniowym; nawiewniki te mają możliwość regulacji wielkości szczeliny poprzez obrót wewnętrznej części, skąd pochodzi ich nazwa; w małych instalacjach umożliwia to regulację hydrauliczną, chociaż trzeba tu zwrócić uwagę na generowany hałas – jeżeli nawiewnik musi zdławić dużą różnicę ciśnień może generować szum; istnieją zawory wentylacyjne przeciwpożarowe, działające jak połączenie nawiewnika i klapy pożarowej

■ nawiewniki talerzowe (fot. 2b) – generują strugę podobną do anemostatu, ale różnią się budową – część kierująca przepływ powietrza ma formę płyty wystającej poniżej płaszczyzny sufitu

■ sufitowe nawiewniki szczelinowe (fot. 2c) – większość typów tych nawiewników wytwarza strugę równoległą do sufitu; struga ta może być skierowana w jednym albo dwóch kierunkach; dużą zaletą nawiewników tego typu jest ich wygląd – dzięki niewielkiej szerokości są mniej widoczne niż tradycyjne anemostaty.

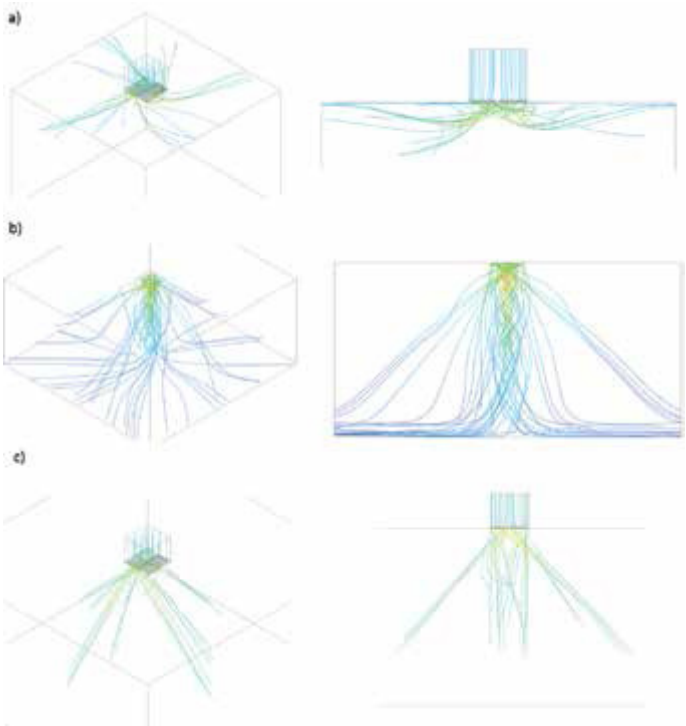
Największą zaletą anemostatów jest możliwość nawiewu dużych strumieni powietrza o temperaturze niższej niż temperatura w pomieszczeniu bez wywołania dyskomfortu cieplnego u ludzi. Według danych literaturowych [7] nawiewniki te można stosować dla strumieni powietrza wynoszących od 0,008 do 0,016 m^3/h na m^2 podłogi. Wadą anemostatów jest natomiast konieczność umieszczenia skrzynki rozprężnej lub prostego odcinka kanału doprowadzającego powietrze nad nawiewnikiem, co ogranicza jego zastosowanie do pomieszczeń wysokich lub posiadających sufit podwieszany. Nawiewnik ten może też nie sprawdzać się przy nawiewie powietrza ciepłego – istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia przypadku, że jeżeli nawiewnik dobrany jest na parametry powietrza zimnego w lecie, prędkość wypływu będzie zbyt niska i w zimie ciepłe powietrze będzie pozostawać w górnej części pomieszczenia. Aby przeciwdziałać temu zjawisku można zastosować nawiewnik z ruchomymi kierownicami [4].



Fot. 3. Nawiewniki wirowe: a) z nieruchomymi łopatkami,
b) z ruchomymi łopatkami

Nawiewniki wirowe

Nawiewniki wirowe (fot. 3) montuje się głównie na suficie, chociaż istnieją też konstrukcje przystosowane do montażu bezpośrednio w strefie przebywania ludzi – nawiewniki podłogowe oraz montowane w stopniach auli [1]. Charakterystyczną cechą tego nawiewnika jest zawirowywanie strugi nawiewanej do pomieszczenia. Zwiększa to indukcję powietrza, czyli mieszanie się powietrza w pomieszczeniu z nawiewanym. Dzięki temu nawiewnik wirowy umożliwia nawiewanie dużych ilości powietrza – nawet do 0,03 m^3/h na m^2 podłogi [7]. W zależności od ustawienia łopatek struga może być, podobnie jak w anemostacie, skierowana wzdłuż sufitu lub opadać w stronę strefy przebywania ludzi (rys. 2).



Rys. 2. Symulacja numeryczna wypływu powietrza z nawiewnika wirowego z ruchomymi łopatkami:
a) struga przylegająca do sufitu (jak z anemostatu),
b) struga zawirowana, c) strugi opadające bezpośrednio do strefy przebywania ludzi

Nawiewniki te są szeroko stosowane, a ich główną zaletą jest możliwość nawiewania powietrza o temperaturze znacznie różniącej się od temperatury w pomieszczeniu. W sprzedaży dostępne są nawiewniki wirowe z ruchomymi kierownicami (fot. 3a). Po podłączeniu siłownika możliwe jest sterowanie kierunkiem nawiewu powietrza. Umożliwia to nakierowanie zimnego powietrza do górnych, a ciepłego do dolnych rejonów pomieszczenia, aby przeciwdziałać siłom wyporu cieplnego. Dostępne są także nawiewniki z siłownikiem woskowym, w którym czynnik rozszerza się pod wpływem ciepła nawiewanego powietrza zmieniając kąt wypływu strugi [5]. Podobnie jak anemostaty, również nawiewniki wirowe wymagają zastosowania skrzynki rozprężnej lub prostego odcinka kanału przed nawiewnikiem, przez co najlepiej nadają się do pomieszczeń wysokich lub z sufitem podwieszanym.

Fot. 4. Kratka wentylacyjna do montażu na przewodzie okrągłym, z przepustnicą i ruchomymi kierownicami

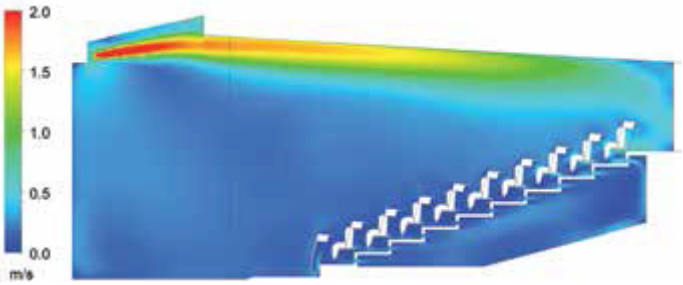
Fot. 5. Dysza dalekiego zasięgu – zamontowana na przewodzie oraz sam nawiewnik

Kratki wentylacyjne

Kratki wentylacyjne są jednymi z najprostszych typów nawiewników. W najbardziej podstawowej wersji kratka wentylacyjna jest to otwór w przewodzie wentylacyjnym zabezpieczony siatką lub lamelami. Spotykane są też bardziej skomplikowane konstrukcje, wyposażone w ruchome kierownice i przepustnice regulacyjne (fot. 4).

Kratki generują strugę zbliżoną do strugi osiowo-symetrycznej. Jeżeli może ona rozprzestrzeniać się swobodnie, przyjmuje kształt przypominający stożek z nawiewnikiem na wierzchołku. W zależności od kąta ustawienia łopatek, kąt rozwarcia strugi i jej zasięg może być różny (rys. 3). Na kształt strugi mają też wpływ wypór cieplny oraz oddziaływanie przegród. Jeżeli powietrze nawiewane jest zimniejsze niż w pomieszczeniu, struga będzie opadać w dół, natomiast jeżeli jest cieplejsze będzie unosić się do góry. Jeżeli kratki umieszczone są w ścianie lub przewodzie blisko sufitu, to struga „przyklei się” do sufitu co zwiększy jej zasięg. Ze względu na tak dużą ilość czynników wpływających na kształt strugi nawiewanej, obliczenia parametrów powietrza w strefie przebywania ludzi za pomocą nomogramów [1] będą czasochłonne – można je sobie częściowo ułatwić korzystając z programu komputerowego [1, 4].

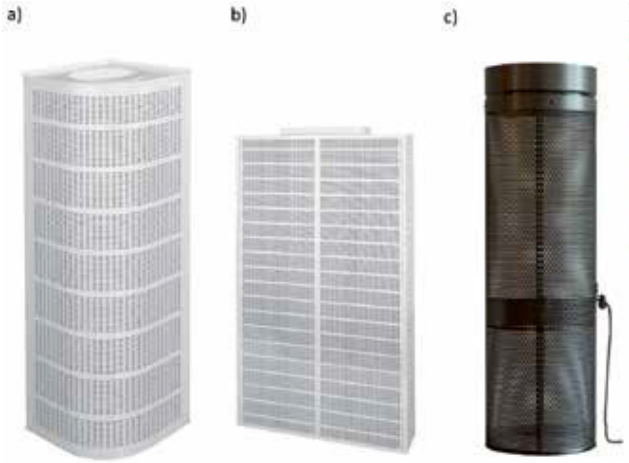
Kratki wentylacyjne są jednymi z najbardziej uniwersalnych typów nawiewników. Dzięki możliwości montażu ich na przewodzie, część instalacji umieszczona w pomieszczeniu może być bardzo prosta – składać się będzie jedynie z przewodu z zamontowanymi na nim kratkami. Rozwiązanie to jest mniej estetyczne niż np. nawiewniki zamontowane w płaszczyźnie sufitu, ale nadaje się do pomieszczeń gospodarczych, przemysłowych lub o industrialnym wystroju. Instalacja taka wymaga też mniejszej ilości miejsca – sprawdza się, gdy przewody wentylacyjne mogą znajdować się jedynie we fragmencie pomieszczenia. Możliwe jest nawet wyprowadzenie poza pomieszczenie całej instalacji z wyjątkiem samych kratek, jeżeli za ścianą jest np. korytarz z sufitem podwieszanym lub pomieszczenie gospodarcze. Wadą kratek wentylacyjnych jest mniejszy dopuszczalny strumień powietrza – od 0,0025 do 0,006 m^3/h na m^2 podłogi [7] oraz mniejsza różnica temperatur między powietrzem nawiewanym a pomieszczeniem niż dla wcześniej omawianych nawiewników. Wynika to z faktu, że struga przed dotarciem do strefy przebywania ma mniej miejsca na rozszerzenie się i wyhamowanie. W większości przypadków pomocne może być jednak odpowiednie ustawienie kierownic powietrza i wykorzystanie efektu „przyklejania się” strugi do sufitu.



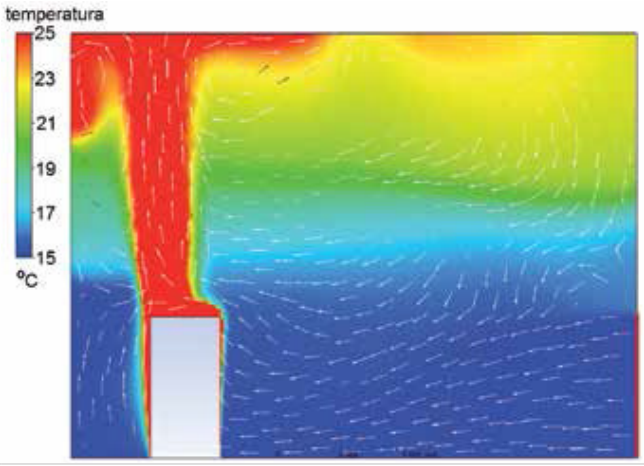
Rys. 4. Symulacja rozkładu prędkości przepływu powietrza w auli z nawiewem przez umieszczone z przodu dysze dalekiego zasięgu. Można zauważyć efekt Coandy, czyli „przyklejanie się” strugi do sufitu, wzdłuż którego jest nawiewana.

Dysze dalekiego zasięgu

Dysze dalekiego zasięgu (fot. 5) generują, podobnie jak kratki, strugę o kształcie zbliżonym do stożka, jednak rozszerza się ona znacznie wolniej. Jak wskazuje ich nazwa, nawiewniki te przeznaczone są do dostarczania powietrza na duże odległości. Znajdują one zastosowanie głównie w obiektach o dużej kubaturze – w halach centrów handlowych, aulach czy na lotniskach. Podobnie jak w przypadku kratek wentylacyjnych, także struga nawiewana z dyszy jest podatna na wypór cieplny oraz oddziaływanie przegrody, wzdłuż której się przemieszcza (rys. 4). Większość nawiewników tego typu ma możliwość zmiany kąta ustawienia zarówno w pionie, jak i w poziomie. Zmiana kąta nawiewu w pionie pozwala skompensować uginanie się strugi w górę lub w dół pod wpływem różnicy temperatur. Istnieją dysze wyposażone w elektryczny lub termostatyczny [5] siłownik umożliwiający zmianę kąta nawiewu w zależności od temperatury powietrza, dzięki czemu w różnych okresach roku powietrze zawiewane może być zimniejsze lub cieplejsze niż w pomieszczeniu.



Fot. 6. Nawiewniki wyporowe: a) narożny [4], b) ścienny [4], c) przemysłowy do podwieszenia pod sufitem [6]



Rys. 5. Przepływ powietrza przy wentylacji wyporowej ze źródłem ciepła, w płaszczyźnie symetrii nawiewnika. Nawiewnik oznaczony jest czerwoną linią po lewej stronie.

Nawiewniki wyporowe

Nawiewniki wyporowe (fot. 6) charakteryzują się dużą powierzchnią nawiewania powietrza, najczęściej przez płytę perforowaną. Celem jest osiągnięcie jak najmniejszego stopnia turbulencji i prędkości wypływu, aby struga nawiewana nie zaburzała naturalnego przepływu powietrza w pomieszczeniu.

Wentylacja wyporowa (rys. 5) zwana „źródłową” (w odróżnieniu od tzw. tłoka powietrznego) działa na zasadzie wyporu cieplnego – nawiewane chłodne i czyste powietrze gromadzi się przy podłodze

pomieszczenia. Kiedy napotka na źródła ciepła (będące też najczęściej źródłami zanieczyszczeń, np. ludzie), ogrzewa się i unosi ku górze, gdzie jest usuwane przez wywiewnik. Dzięki temu w pomieszczeniu formują się dwie strefy – dolna, chłodna i czysta oraz górna, ciepła i zanieczyszczona. Należy tak dobrać strumień powietrza nawiewanego, aby granica między nimi leżała powyżej strefy przebywania ludzi.

Ze względu na konieczność utrzymania niskiej prędkości nawiewu, nawiewniki wyporowe charakteryzują się zazwyczaj dużymi rozmiarami. Spotykane są konstrukcje montowane w dolnej części pomieszczenia w ścianie (fot. 6b), narożne (fot. 6a), a nawet jako wolnostojące kolumny. Do zastosowań przemysłowych mogą być wykorzystane nawiewniki wyporowe do zawieszenia pod sufitem (fot. 6b). Generują one strugę, która dzięki niskiej temperaturze swobodnie opada do strefy przebywania ludzi. Występują również nawiewniki tego typu z przepustnicą zmieniającą sposób wypływu, umożliwiające nawiew, także ciepłego powietrza [1]. Po zmianie nastawy nawiewnik kieruje powietrze w dół z większą prędkością, pozwalającą przezwyciężyć siły wyporu unoszące ciepłe powietrze ku górze.

Wentylacja wyporowa sprawdza się w przypadku pomieszczeń, w których występują duże zyski ciepła i nawet w zimie wymagane jest nawiewanie chłodniejszego powietrza. Pozwala ona na lepsze usuwanie zanieczyszczeń ze strefy przebywania niż wentylacja mieszająca. Jej wadą są natomiast duże wymiary urządzeń oraz niewielkie dopuszczalne strumienie powietrza – od 0,001 do 0,004 m^3/h na m^2 podłogi.

dr inż. Piotr Koper
Politechnika Śląska

Normy i rozporządzenia

N1. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
N2. PN-B-03421:1978 Wentylacja i klimatyzacja – Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi.
N3. PN-EN 15251:2012 Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.
N4. PN-EN ISO 7730:2006 Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego.

Literatura

1. www.trox.pl
2. loximide.pl
3. www.alnor.com.pl
4. www.swegon.com
5. www.smay.pl
6. www.saw-pol.com
7. Pełech A., Wentylacja i klimatyzacja, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2011.